

谢五三, 吴蓉, 田红, 等, 2017. 东津河流域暴雨洪涝灾害风险区划[J]. 气象, 43(3): 341-347.

东津河流域暴雨洪涝灾害风险区划^{*}

谢五三 吴蓉 田红 卢燕宇

安徽省气候中心, 合肥 230031

提 要: 本文从暴雨致灾机理出发, 以东津河流域为例, 开展中小河流域暴雨洪涝灾害风险区划技术研究。根据气象资料、水文资料、地理信息资料、社会经济统计资料以及历史灾情资料等, 运用 TOPMODEL 水文模型并结合统计法确定致洪临界面雨量, 利用逐步回归法重建区域站资料序列, 基于广义极值分布函数计算出不同重现期的致洪面雨量, 根据流域内小时降水雨型分布, 将不同重现期致洪面雨量以及叠加堤坝信息的 DEM、manning 系数等数据代入 FloodArea 模型进行洪水淹没模拟, 得到不同重现期下洪水淹没图, 再叠加流域内栅格化的人口、GDP 以及土地利用信息, 最终得到不同重现期下人口、GDP 以及土地利用等风险区划图谱。建立的中小河流域暴雨洪涝灾害风险区划技术方法简便可行, 区划结果精度高、实用性强, 对于面向实时防灾减灾的动态灾害风险管理具有重要意义。

关键词: 暴雨洪涝, 风险区划, 致洪面雨量, FloodArea, 东津河流域

中图分类号: P467

文献标志码: A

DOI: 10.7519/j.issn.1000-0526.2017.03.010

Rainstorm Flood Risk Regionalization of the Dongjin River Basin

XIE Wusan WU Rong TIAN Hong LU Yanyu

Anhui Climate Centre, Hefei 230031

Abstract: Beginning with the mechanism of rainstorm floods, and taking the Dongjin River Basin as a case, this paper carries out the study on the rainstorm flood risk regionalization of medium and small river basins. Using the meteorological data, hydrological data, geographic information data, social and economic statistical data, historic disaster data as well as the hydrological model of TOPMODEL and statistical method, we determine the flood critical area rainfall and also reconstruct the data sequence of regional meteorological stations by the method of stepwise regression. Then by using the generalized extreme value distribution function, we work out the flood-causing area rainfall in different return periods. According to the distribution of hourly precipitation rainfall-pattern in the river basin, we use the FloodArea model to simulate the flood with the data of the flood-causing area rainfall in different return periods, the DEM added with the dyke-dam information, and the coefficient of manning etc., obtaining the flood inundation maps for different return periods. Finally the risk regionalization atlas for different return periods are drawn based on the data of population, GDP and landuse in the river basin. The technique established in this paper for rainstorm flood risk regionalization of medium and small river basins is convenient and feasible, and the results of risk regionalization are of high precision and strong practicability. Therefore, it is meaningful for dynamic disaster risk management which faces the real-time disaster prevention and mitigation.

Key words: rainstorm flood, risk regionalization, flood-causing area rainfall, FloodArea, Dongjin River Basin

* 中国气象局气象关键技术集成与应用项目(CMAGJ2014M24)、国家自然科学基金项目(41105080)、安徽省气象局科技发展基金项目(KM201504)和中国气象局气候变化专项“基于水动力模型的城市内涝风险评估与区划”共同资助

2015 年 12 月 1 日收稿; 2017 年 1 月 3 日收修定稿

第一作者: 谢五三, 主要从事极端天气气候事件监测与影响评估工作. Email: xiewusan_2008@sina.com

引言

随着对我国自然灾害研究的不断深入以及经济建设的日益发展、防灾减灾意识的逐渐普及和对灾害管理、减灾效果的日益重视,作为自然灾害风险管理中重要而基础的灾害风险区划工作显得愈加重要而迫切(章国材,2010)。早在 2000 年,德国莱茵河流域就制作出洪水风险地图集,其成功的流域防洪规划与水环境综合管理为全世界树立了典范(Karl-Heinz,2006;姜彤,2002;姜彤和许朋柱,1997);欧洲中部的易北河流域是典型的湿润半湿润地区,有关易北河流域的暴雨洪涝风险和损失评价图为该流域洪涝风险管理提供重要技术支撑(Hattermann et al,2009);此外还有中南美洲多灾种系列风险图谱,欧洲用于公众服务的洪水风险图(Begum et al,2007),以及应用层次分析法(Yoshimatsu and Abe,2006)、概率统计(Korkmaz,2009)、模糊数学(Karimi and Hullermeier,2007)、灰色关联(Ye and Yao,2012)、聚类分析(高焱等,2013)等方法进行灾害风险区划技术研究。近年来,随着 GIS 技术的广泛运用,灾害风险区划技术得到进一步提高(Sang et al,2013;苏布达等,2005;李兰等,2013),特别是 GIS 与水动力模型结合的洪水淹没模拟研究十分活跃,Gemmer(2004)、Gemmer et al(2006)和叶丽梅等(2013)通过 FloodArea 模型编制的风险图得到广泛应用和推广。目前,气象灾害风险区划理论方面仍不完善,技术方法也多种多样,大多将致灾因子、孕灾环境、承灾体和防灾减灾能力 4 个因子加权综合构建出灾害风险区划模型(曾金全等,2011;李喜仓等,2012;俞布等,2011;李军玲等,2010;郭虎和熊亚军,2008),该方法给出的是基于多年平均气候态的一种静态灾害风险区划图,对人们认识灾害的多年平均分布状况有一定的参考意义,但对于面向实时防灾减灾的动态灾害风险管理工作作用有限,且风险评估与区划的精度、实时性、实用性等方面都难以满足社会需求。灾害风险区划其出发点和归宿点是如何避免和减轻灾害对人民生命财产和社会经济的破坏和损害,只有从致灾机理出发,用风险的理念来认识和管理灾害,才能最大程度地减轻灾害影响(章国材,2014);我国中小河流众多,暴雨洪涝灾害频繁,从暴雨致灾机理出发,以面向实时气象防灾减灾为思路,开展中小河流域暴雨洪涝灾害风险区划技

术方法研究意义重大。

1 资料与方法

东津河流域地处安徽省皖南山区,是水阳江上游三源之一,为中小河流洪水和山洪地质灾害易发地区,流域面积 1014 km^2 ,河道全长 65 km ,上口宽 80 m ,洪水深度 7.5 m ,枯水深度 0.4 m 左右,比降 5.94% ,其水文控制站沙埠站(1958 年建站,提供观测水位、流量等要素资料)位于宁国市梅林镇沙埠村。本文以东津河流域为研究区域,所用资料主要包括流域内的气象资料、水文资料、地理信息资料、社会经济统计资料以及历史灾情资料等,流域内气象及水文站点分布图(图 1),气象资料为流域内及周边所有国家站及区域站建站至 2014 年逐日及逐小时降水资料,水文资料为沙埠站典型洪水过程的逐小时流量与水位观测值。DEM 数据来自 SRTM(Shuttle Radar Topography Mission),是 2000 年美国航空航天局(NASA)利用奋进号航天飞机上的雷达观测获得的地球表面($56^{\circ}\text{S}\sim 60^{\circ}\text{N}$) 80% 以上的三维雷达数据,有 SRTM1 和 SRTM3 两种,即分别是 1 和 3 角秒精度的数据,对应栅格精度分别为 30 和 90 m,绝对高程和绝对水平精度分别为 16 和 20 m,由于中小河流域河道宽度基本能达到或超过 100 m,因而 SRTM1 能刻画出中小河流域河道信息,满足 FloodArea 模型淹没模拟分析需要;此外,由 FloodArea 模型使用指南(Geomer,2003)及不同精度的 SRTM-DEM 数据精度对比分析(安辛克等,2010)可知:DEM 精度高、地形起伏明显,淹没模拟效果越好,因此本文选用的是 DEM 精度相对较高的 SRTM1(栅格精度为 30 m);流域内河流堤坝信息直接影响 FloodArea 洪水淹没模拟效果,在进行淹没模拟前,需获取流域内河流堤坝高度、长度等信息,叠加到流域 DEM 中,得到叠加流域堤坝信息的 DEM 数据,通过精细化暴雨洪涝灾害风险普查,得到东津河流域堤坝信息并叠加到流域 DEM 中。土地利用数据来自国家基础地理信息中心研制的基于 2010 年全球 30 m 地表覆盖产品(GlobeLand30),manning 系数是根据不同土地利用类型的粗糙度计算而得,栅格精度均与 DEM 相匹配(均为 $30\text{ m}\times 30\text{ m}$),人口和 GDP 数据来自《安徽省统计年鉴》(安徽省统计局,2011),均为 2010 年统计数据。

本文所用的水动力模型为 FloodArea,水文模型

为 TOPMODEL。FloodArea 模型为德国 Geomer 公司开发,以模块形式与 ArcGIS 无缝集成,原理为二维非恒定流水动力模型,计算基于水动力方法,同时考虑了一个栅格的周围八个单元,相邻单元的水流宽度被认为是相等的,位于对角线的单元,以不同的长度算法来计算;对邻近单元的泻入量由 manning-stricker 公式计算,淹没过程中的水流方向由地形坡向所决定,水流的淹没深度为淹没水位高程和地面高程之间的差值(Geomer, 2003),其计算原理见示意图(图 2)。TOPMODEL 是以流域地形指数为基础的半分布式水文模型,基于 DEM 数据和 D8 算法计算流域内的地形指数,并确定不同等级地形指数

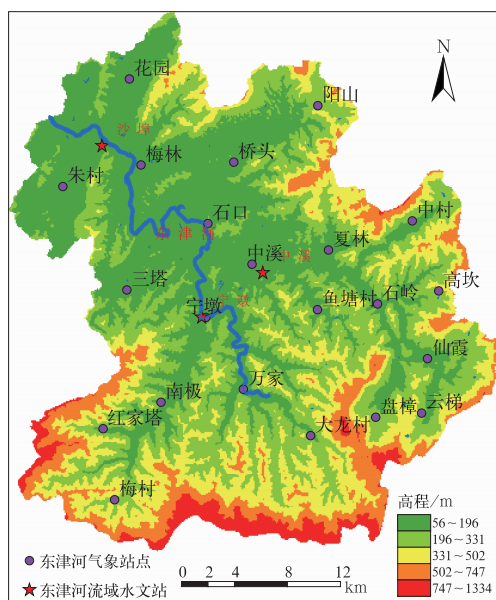


图 1 东津河流域气象及水文站点分布图

Fig. 1 Distribution of meteorological and hydrological stations in the Dongjin River Basin

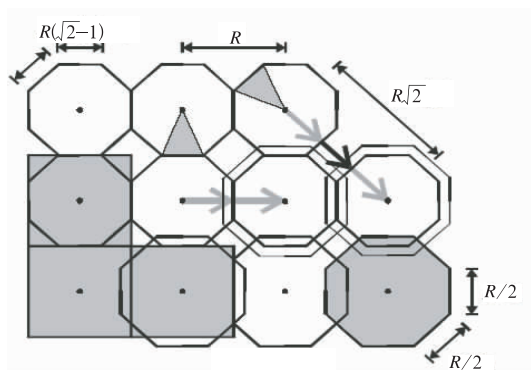


图 2 FloodArea 计算原理示意图

Fig. 2 Sketch map of calculation principle
for FloodArea model

所占的面积比例;除地形指数外,模型还需要雨量、蒸散量来进行驱动以得到出口断面的径流深,最终得到降水和径流的关系。

选用常用的 TOPMODEL 水文模型并结合统计法确定致洪临界面雨量,利用国家站历史长序列小时雨量资料,重建区域站历史小时雨量资料序列结合致洪临界面雨量以及历史暴雨洪涝灾情,建立致洪面雨量序列;采用广义极值分布函数(王芝兰等,2013)确定不同重现期的致洪面雨量,根据致洪面雨量序列以及逐小时降水资料,计算逐小时降水概率,确定流域内小时降水雨型分布;将计算得到的不同重现期致洪面雨量、小时雨型分布、叠加堤坝信息的 DEM、manning 系数等数据代入 FloodArea 模型进行淹没模拟,得到不同重现期洪水淹没图;最终将不同重现期下暴雨洪涝淹没结果分别叠加流域内栅格化的人口、GDP 以及土地利用信息,得到不同重现期下人口、GDP 以及土地利用等风险区划图谱。

2 致洪临界面雨量确定

基于 DEM 数据和 D8 算法运用 GIS 空间分析技术得到东津河流域地形指数的空间分布,将沙埠站流量观测值转换为径流深,并根据数据序列把模型步长设为 1 h,将雨量、蒸发量和地形指数计算结果代入到 TOPMODEL 中运算,进行流量模拟并与实测径流深比较,以率定模型参数和检验模型适用性。采用 2007 年(图 3a)、2009 年(图 3b)汛期的洪水过程完成了模型参数率定,模型确定性系数均在 0.7 以上,模拟的洪峰量值与出现时间均与实际较为吻合。

采用 TOPMODEL 模型进行流量模拟,如果模拟流量和给定的临界流量(即警戒水位、保证水位、堤顶高度等水位所对应的流量)相差较大,那么重新给定面雨量进行模拟。通过多次模拟,直到模拟与临界流量一致,此时得到的面雨量就是临界面雨量(图 4)。

利用历史洪水过程(2007 和 2009 年两次典型的洪水过程),采用统计法以小时资料为步长,建立面雨量与流量和水位的关系。通过对 2007、2009 年东津河流域汛期的两次洪水过程分析,水位与前 16 h 面雨量的相关性均超过了 0.9。最终利用 TOPMODEL 模型得到东津河流域不同基础水位的 16 h 致洪临界面雨量(表 1)。

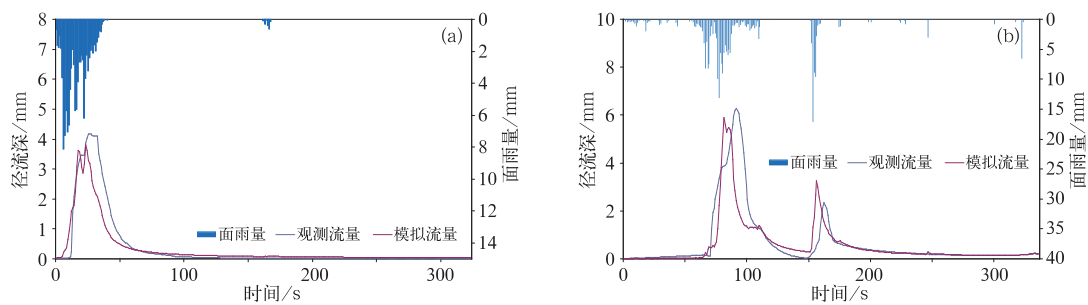


图 3 2007 年(a)和 2009 年(b)TOPMODEL 在东津河流域的模拟效果
Fig. 3 Simulation effect of the TOPMODEL in Dongjin River Basin in 2007 (a) and 2009 (b)

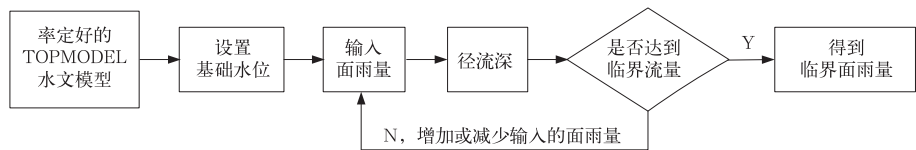


图 4 TOPMODEL 计算临界面雨量流程示意图
Fig. 4 Schematic diagram of calculating critical rainfall with TOPMODEL

表 1 不同基础水位的 16 h 致洪临界面雨量表(单位:mm)

Table 1 The flood critical area rainfall in 16 h at different water levels (unit: mm)

	警戒水位 (59 m)	保证水位 (61 m)	堤顶高度 (64 m)
基础水位(57 m)	60.8	72.0	121.6
基础水位(58 m)	44.8	67.2	113.6

3 不同重现期(T 年一遇)致洪面雨量

东津河流域及周边共有国家站 7 个,流域内的区域站共有 22 个,区域站中建站时间较早(2006 年建站)的共有 6 个。因此采用东津河流域及周边的 7 个国家站小时雨量资料,运用逐步回归法,对东津河流域内的 6 个区域站进行历史长序列小时雨量资料重建。根据泰森多边形的权重及各区域站重建的小时雨量资料,计算得到东津河流域长序列逐小时面雨量序列。

根据逐小时面雨量序列,计算滑动 16 h 累计面雨量,对照东津河流域 16 h 致洪临界面雨量计算结果,在沙埠站最常见的基础水位下,并考虑能选出足够的致洪面雨量历史个例,也即致洪临界面雨量选用 60.8 mm(基础水位为 57 m,预警水位为警戒水

位)为门限值进行样本挑取,结合精细化暴雨洪涝灾害风险普查灾情数据以及 1984—2010 年气象灾害普查数据库的灾情数据,挑选出东津河流域共 56 个致洪面雨量历史样本个例,采用广义极值分布函数来进行拟合优度检验。

图 5 为东津河流域致洪面雨量历史个例函数拟合图,参数估计结果为:形状参数 -0.4913 ,尺度参数 8.2028,位置参数 68.0660。由形状参数值可知,东津河流域致洪面雨量服从极值 II 型分布,也即 Frechet 分布,由此计算出东津河流域不同重现期(T 年一遇)的致洪面雨量(表 2)。

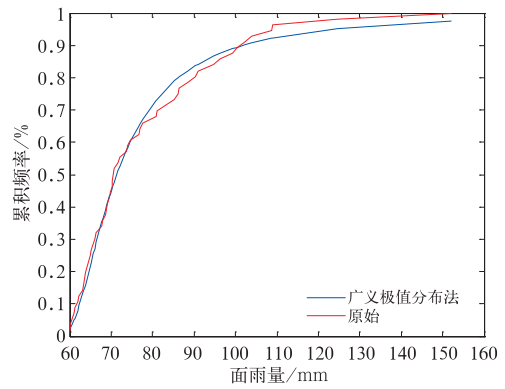


图 5 东津河流域致洪面雨量函数拟合图
Fig. 5 Function fitting map of flood-causing area rainfall in the Dongjin River Basin

表 2 东津河流域不同重现期的致洪面雨量(单位:mm)

Table 2 Flood-causing area rainfall in different return periods in Dongjin River Basin (unit: mm)

重现期	5 年一遇	10 年一遇	15 年一遇	20 年一遇	30 年一遇	50 年一遇	100 年一遇
致洪面雨量/mm	86.3	101.8	113.5	123.2	139.4	164.9	211.4

4 暴雨洪涝灾害风险区划

根据东津河流域致洪面雨量序列(56个典型个例)以及逐小时降水资料,计算逐小时(1,2,3,...,16 h)降水概率,确定东津河流域内小时降水雨型分布(图6)。

最终将计算得到的东津河流域不同重现期致洪面雨量、小时雨型分布、叠加堤坝信息的DEM、manning系数等数据代入FloodArea模型进行洪水淹没模拟,得到不同重现期下洪水淹没图(图7)。由图可见,不同重现期下淹没较深的区域均位于河道两侧地势低洼地带,查阅相关历史洪涝灾情数据并实地调查走访可知,该流域河道两侧低洼地带为暴雨洪涝灾害易发区,表明洪水淹没模拟结果与实况较为吻合。

东津河流域不同重现期下(5、10、15、20、30、50、100年一遇)暴雨洪涝淹没结果分别叠加该流域内栅格化的人口、GDP以及土地利用信息(10:耕地;20:林地;30:草地;40:水体;50:居民用地),得到不同重现期下人口、GDP以及土地利用等风险区划图谱(图8)。

5 结论与讨论

(1) 本文采用典型洪水过程对TOPMODEL水文模型进行参数率定,模型确定性系数在0.7以上,表明TOPMODEL在东津河流域有较好的适用性,再结合统计法得到不同基础水位的致洪临界面雨量。

(2) 利用国家站历史长序列小时雨量资料及逐步回归法,重建区域站小时雨量资料序列;采用广义极值分布函数来进行拟合优度检验,由形状参数值可知,该流域致洪面雨量服从极值II型分布

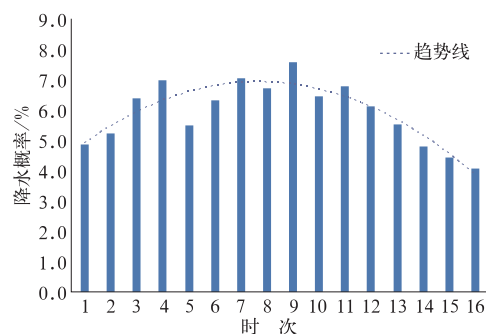


图6 东津河流域小时降水雨型分布

Fig. 6 Distribution of hourly precipitation rainfall-pattern in Dongjin River Basin

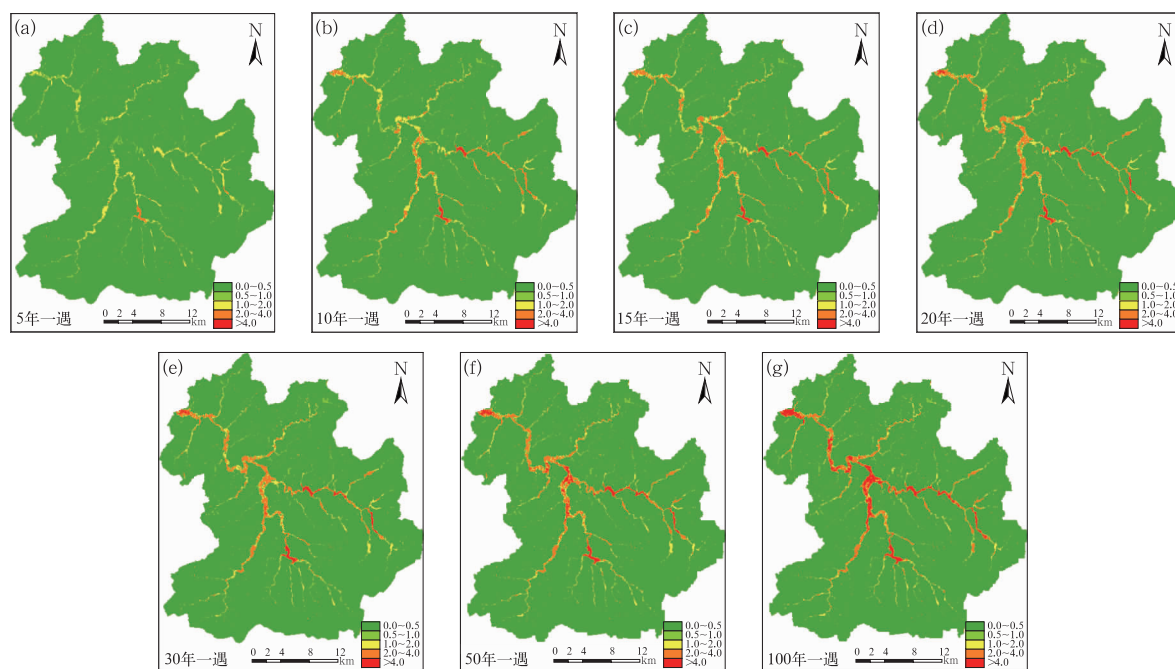


图7 东津河流域不同重现期下洪水淹没图(单位:m)

Fig. 7 Flood inundation maps for different return periods in Dongjin River Basin (unit: m)

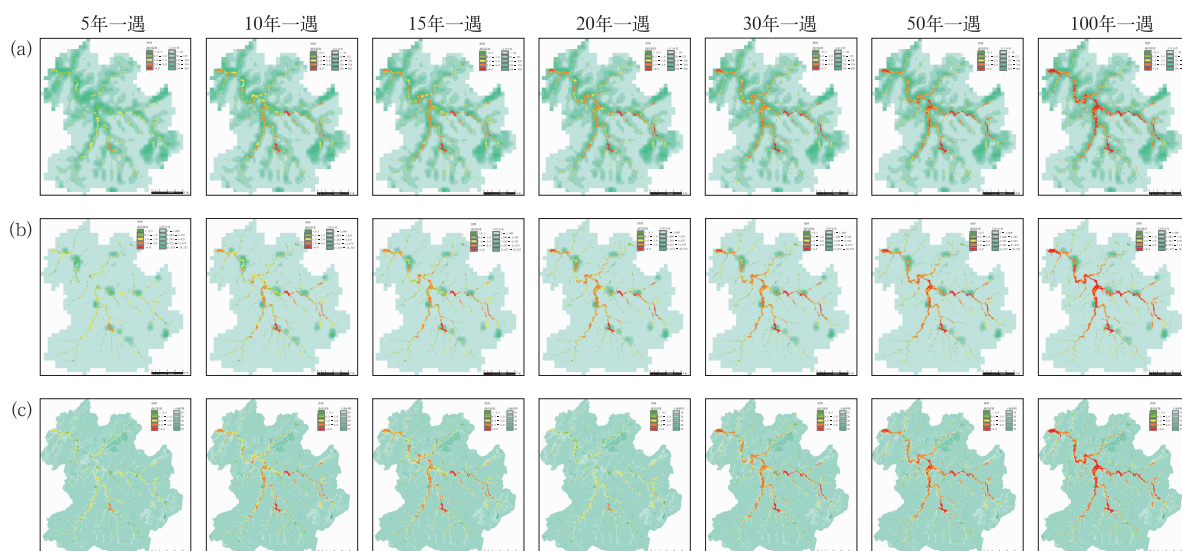


图 8 东津河流域不同重现期下人口(a, 单位:人)、GDP(b, 单位:元)以及土地利用(c)风险区划图谱

Fig. 8 The risk regionalization atlas of population (a, unit: person), GDP (b, unit: yuan) and landuse (c) in the Dongjin River Basin in different return periods

(Frechet 分布), 并由此计算出不同重现期的致洪面雨量。

(3) 根据东津河流域内小时降水雨型分布, 将不同重现期致洪面雨量以及叠加堤坝信息的 DEM、manning 系数等数据代入 FloodArea 模型进行洪水淹没模拟, 得到不同重现期下洪水淹没图, 再叠加流域内栅格化人口、GDP 以及土地利用信息, 得到不同重现期下人口、GDP 以及土地利用等风险区划图谱。

(4) 较以往的静态灾害风险区划相比, 本文在区划的精度、实时性、实用性等方面都有较大提高, 对于面向实时防灾减灾的动态灾害风险管理具有重要意义。

由于暴雨洪涝灾害的形成机理较为复杂, 影响因素众多, 要完全客观定量地分析其致灾危险性、暴露度和脆弱性等方面还具有一定困难。本文对这些复杂问题进行了一些初步探索, 许多方面还不完善, 如水文模型的适用性、致洪面雨量历史个例、流域雨型空间分布、FloodArea 模型精度等, 这有待于进一步深入研究。

致谢: 本文在写作过程中, 得到国家气候中心专家特别是姜彤研究员的指导和帮助, 特此致谢。

参考文献

安徽省统计局, 2011. 安徽统计年鉴 2011[M]. 北京: 中国统计出版社.

安辛克, 李琳琳, 张运刚, 2010. 不同分辨率 SRTM-DEM 的数字地形分析比较研究[J]. 测绘与空间地理信息, 33(6): 73-75.

高颢, 蒙小亮, 劳小青, 2013. 基于聚类分析的海南岛雷电灾害易损度风险区划[J]. 自然灾害学报, 22(1): 175-182.

郭虎, 熊亚军, 2008. 北京市雷电灾害易损性分析、评估及易损度区划[J]. 应用气象学报, 19(1): 35-40.

Gemmer M, 王国杰, 姜彤, 2006. 洪湖分蓄洪区洪水淹没风险动态识别与可能损失评估[J]. 湖泊科学, 18(5): 464-469.

姜彤, 2002. 莱茵河流域水环境管理的经验对长江中下游综合治理的启示[J]. 水资源保护, (3): 45-50.

姜彤, 许朋柱, 1997. 荷兰的实时洪水管理——1993 年和 1995 年洪水的比较研究[J]. 自然灾害学报, 6(1): 97-103.

李军玲, 刘忠阳, 邹春辉, 2010. 基于 GIS 的河南省洪涝灾害风险评估与区划研究[J]. 气象, 36(2): 87-92.

李兰, 周月华, 叶丽梅, 等, 2013. 基于 GIS 淹没模型的流域暴雨洪涝风险区划方法[J]. 气象, 39(1): 112-117.

李喜仓, 白美兰, 杨晶, 等, 2012. 基于 GIS 技术的内蒙古地区暴雨洪涝灾害风险区划及评估研究[J]. 干旱区资源与环境, 26(7): 71-77.

苏布达, 姜彤, 郭业友, 等, 2005. 基于 GIS 栅格数据的洪水风险动态模拟模型及应用[J]. 河海大学学报, 33(4): 370-374.

王芝兰, 王劲松, 李耀辉, 等, 2013. 标准化降水指数与广义极值分布干旱指数在西北地区应用的对比分析[J]. 高原气象, 32(3): 839-847.

叶丽梅, 周月华, 李兰, 等, 2013. 通城县一次暴雨洪涝淹没个例的模拟与检验[J]. 气象, 39(6): 699-703.

俞布, 缪启龙, 潘文卓, 等, 2011. 杭州市台风暴雨洪涝灾害风险区划与评价[J]. 气象, 37(11): 1415-1422.

曾金全, 张烨方, 王颖波, 2011. 基于综合评价算法的雷电灾害易损度区划模型研究[J]. 气象, 37(12): 1595-1600.

章国材, 2010. 气象灾害风险评估与区划方法[M]. 北京: 气象出版

- 社.
- 章国材, 2014. 自然灾害风险评估与区划原理和方法[M]. 北京: 气象出版社.
- Begum S, Stive M J F, Hall J W, 2007. Flood Risk Management in Europe[M]. Dordrecht: Springer.
- Hattermann F F, Post J, Krysanova V, 2009. Assessing uncertainty of water availability in a central-European river basin (Elbe) under climate change[J]. Adv Clim Change Res, 5(2):63-70.
- Geomer G H, 2003. Floodarea-Arcview extension for calculating flooded areas (User manual Version 2.4)(Z)[Z]. Heidelberg: Heidelberg University.
- Gemmer M, 2004. Decision support for flood risk management at the Yangtze River by GIS/RS based flood damage estimation [J]. Giessen: Shaker: 108-127.
- Karimi I, Hullermeier E, 2007. Risk assessment system of natural hazards: a new approach based on fuzzy probability[J]. Fuzzy Sets Syst, 158(9):987-999.
- Karl-Heinz R, 2006. Flood action plan of the River Rhine-Development and realization (In brief)[J]. Res Envir on Yangtze Basin, 15(5):620.
- Korkmaz K A, 2009. Earthquake disaster risk assessment and evaluation for Turkey[J]. Environ Geology, 57(2):307-320.
- Sang Y K, Wang Z G, Liu C M, 2013. What factors are responsible for the Beijing Storm[J]. Nat Hazards, 65(1):2399-2400.
- Ye Xiaoling, Yao Zhenzhen, 2012. Study on evaluation of the rain-storm disaster in Fujian Province based on Spectral Clustering Model with Grey Correlation Analysis [J]. Meteor Environ Res, 3(6):45-49.
- Yoshimatsu H, Abe S, 2006. A review of landslide hazards in Japan and assessment of their susceptibility using an analytical hierarchical process (AHP) method [J]. Landslide, 3(2):149-158.